



پایش مزرعه گندم با پهپاد: اجزاء و اجرا

حسن مسعودی^{*۱}، محمدحسین آق خانی^۲، جلال برادران مطیع^۳

۱. دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران (hmasoudi@scu.ac.ir)
۲. استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران (aghkhani@um.ac.ir)
۳. استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران (j.baradaran@um.ac.ir)

چکیده

برای انجام عملیات در کشاورزی دقیق مانند اعمال نرخ متغیر سم در مزرعه، پایش مزرعه و تهیه نقشه های شاخص های مختلف زراعی مانند نقشه توزیع علف های هرز در مزرعه ضروری است. یکی از فناوری های نوین برای این کار پهپادهای تصویربرداری هستند. از دوربین های چندطیفی نصب شده روی پهپادهای تصویربرداری می توان برای تهیه نقشه شاخص های مختلف مانند NDVI و تعیین نقشه های مختلف همچون تراکم علف های هرز و استخراج نقشه اعمال نرخ متغیر نهاده استفاده نمود. در این مطالعه با استفاده از پهپاد مویک ۳ مولتی اسپکترال تصویربرداری از مزرعه گندم صورت گرفت. در ارتفاع ۳۰ متر نسبت به DEM منطقه تصویربرداری از مزرعه با دوربین های RGB و چندطیفی (در چهار باند سبز، قرمز، لبه قرمز و مادون قرمز نزدیک) انجام شد. سپس با استفاده از نرم افزار اختصاصی پردازش تصاویر مزرعه با عنوان Pix4Dfields تصاویر RGB و چندطیفی پردازش شدند و نقشه های DSM، ارتوموزائیک، و همچنین نقشه های شاخص های VARI، TGI برای تصاویر RGB و شاخص های SIPI2، NDRE، MCARI، LCI، GNDVI، NDVI برای تصاویر چندطیفی تهیه شدند. این نرم افزار همچنین قابلیت تهیه نقشه های اعمال نرخ متغیر نهاده براساس نقشه شاخص های مختلف را دارد. بنابراین نقشه های سمپاشی نرخ متغیر براساس شاخص های VARI و NDVI تهیه شد. در این مقاله جزئیات سامانه پایش مزرعه و نحوه تهیه نقشه های شاخص های مختلف و نقشه اعمال متغیر سم بیان شده است.

کلمات کلیدی

مزرعه گندم، پهپاد، مویک ۳ مولتی اسپکترال، تصویربرداری هوایی، نقشه NDVI، نقشه اعمال نرخ متغیر نهاده.

*نویسنده مسئول: حسن مسعودی، hmasoudi@scu.ac.ir



مقدمه

محصولات کشاورزی حتی در داخل یک مزرعه نیز متفاوت هستند. از اواسط سال ۱۹۷۰ تا اواسط سال ۱۹۸۰ آگاهی بهتری از تنوع خاک و شرایط معمول در مزرعه‌ها، از طریق تحقیقات مزرعه‌ای به دست آمد. در دهه ۱۹۹۰ پیشرفت ریزپردازنده‌ها منجر به توسعه میکروکنترلرها، تولید نقشه مدیریت خاص مکانی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی^۱ (GIS) و پردازش داده‌های مکانی مزرعه شد. ظهور سامانه موقعیت‌یابی جهانی^۲ (GPS)، باعث شد اطلاعات با موقعیت مکانی مرتبط شوند. مرتبط کردن داده‌های عملکرد با نقشه‌های تغییرات مواد غذایی خاک در سراسر مزرعه، آغاز مفهوم جدیدی از مدیریت کشاورزی، که در حال حاضر کشاورزی دقیق^۳ نام گرفته می‌باشد. کشاورزی دقیق به معنای مطابقت ورودی‌ها با نیازمندی‌ها می‌باشد به طوری که تنوع را نشان دهد. در حقیقت، کشاورزی دقیق تنها در صورتی که تنوع وجود داشته باشد، احساس می‌شود. کشاورزی دقیق انجام کار درست، در جای مناسب و در زمان مناسب می‌باشد [۱].

فناوری کشاورزی دقیق، امکان شناسایی، تجزیه و تحلیل و مدیریت بهتر این تغییرات زمانی و مکانی در مزرعه را فراهم می‌کند. کشاورزی دقیق تماماً در مورد کاهش این تغییرات از طریق تلاش‌های متمرکزتر و هدفمندتر است. تلاش‌هایی که باید با حفظ کیفیت و کمیت محصول، تولید را افزایش دهند. این امر می‌تواند با تصاویر هوایی جمع‌آوری شده با پهپادها با استفاده از حسگرهای تخصصی، کارآمدتر شود. اصولاً وقتی در مورد سنجش از دور در کشاورزی دقیق صحبت می‌کنیم، بلافاصله به حسگرها و شاخص‌های پوشش گیاهی فکر می‌کنیم. پوشش گیاهی یا شاخص رویشی با استفاده از باندهای طیفی مختلف محاسبه می‌شود، معمولاً بسته به نوع تنش گیاهی که سعی در تجسم آن داریم [۲].

پیش از این، روش‌های سنتی تر نظارت بر محصول مانند عکس‌برداری ماهواره‌ای یا عکس‌برداری با هواپیماهای سرنشین دار ناکافی بودند، زیرا اطلاعات را ناقص و با تأخیر ارائه می‌دادند. پلتفرم‌های سنجش از راه دور کم ارتفاع و یا سیستم‌های هوایی بدون سرنشین^۴ (UAS)، می‌توانند یک جایگزین ارزاتر و کارآمدتر در عملیات نظارت بر شرایط محصول باشند. زیرا می‌توانند بسیار نزدیک تر به محصول و سطح برگ پرواز کنند و این امر باعث می‌شود پهپادها امکان بیشتری برای گرفتن اطلاعات دقیق‌تر و گسترده‌تر داشته باشند [۳]. پهپادها ثابت کرده‌اند که قادر به دستیابی به داده‌های سنجش از راه دور در وضوح مکانی (سانتیمتری) و زمانی (روزانه) و انعطاف پذیری بالاتر (نصب انواع دوربین‌های تصویر برداری و حرارتی و انواع حسگرها) در جمع‌آوری داده‌ها نسبت به سامانه‌های هوایی دیگر هستند [۴]. نیاز به ترکیب عکس‌های گرفته شده توسط هواپیماهای سرنشین دار می‌تواند مشکل‌ساز باشد، زیرا این هواپیماها دارای مسیرهای پروازی سنتی هستند. برای غلبه بر این مشکل، پهپادها با توانایی پرواز بر روی یک نقطه ثابت برای یک دوره زمانی، یک انتخاب سودمند هستند. پهپادها می‌توانند به دوربین‌های مادون قرمز، حسگرها و سایر فناوری‌ها مجهز شوند و در پایش محصولات مزرعه از این حسگرها استفاده کنند و این به کشاورزان کمک می‌کند تا تصمیم بگیرند و اقدامات احتیاطی را انجام دهند [۳].

پژوهشگران با استفاده از سامانه UAS و نصب دوربین بر روی پهپاد برای تصویربرداری و سپس انجام پردازش تصویر بر روی تصاویر گرفته شده برای تشخیص تراکم محصول و مقایسه آن با روش اندازه‌گیری دستی که روشی با دقت بالا ولی وقت‌گیر و خسته‌کننده است، RMSE را ۰/۹ و R^2 را ۰/۹۱ بدست آوردند که نتایج قابل قبولی بودند [۵]. گروهی دیگر از محققین یک سیستم پاشش نرخ متغیر پهپاد بر اساس تفسیر نقشه مبنا طراحی کردند. این سیستم شامل یک زیرسیستم تفسیر نقشه گرافیکی و یک زیرسیستم پاشش متغیر بود. در ابتدا میزان پاشش در هر نقطه توسط زیرسیستم تفسیر نقشه از نقشه مزرعه موردنظر استخراج شد. پس از آن، مقدار پاشش به سیستم اعمال متغیر منتقل گردید. در نهایت، الگوریتم کنترل PID حلقه بسته برای تنظیم چرخه کاری با توجه به مقدار مبنای دریافتی استفاده شد. سپس یک سیگنال موج مربعی با چرخه کاری قابل تنظیم برای تنظیم سرعت چرخش پمپ میکرو دیافراگمی تولید شده و سمپاشی متغیر محقق گردید [۶].

¹ Geographical Information System

² Global Positioning System

³ Precision agriculture

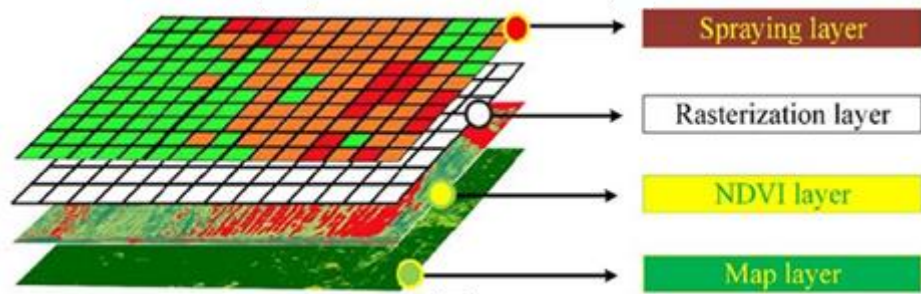
⁴ Unmanned Aerial Systems



پیاده سازی سامانه های کشاورزی دقیق شامل دو مرحله شناسایی تغییرات در سطح مزرعه و اعمال نرخ متغیر نهاده می باشد. برای شناسایی تغییرات در سطح مزرعه می توان از دو شیوه حسگر مبنا^۱ و نقشه مبنا^۲ استفاده کرد. در شیوه حسگر مبنا تغییرات بصورت لحظه ای و با کمک حسگرهای نصب شده بر روی وسیله نقلیه شناسایی و رصد می شوند. در شیوه نقشه مبنا با استفاده از دوربین های تصویربرداری نصب شده بر روی یک وسیله نقلیه (مانند پهپاد) ابتدا نقشه تغییرات در سطح مزرعه تهیه و سپس اعمال نهاده با تاخیر توسط سامانه اعمال نرخ متغیر نهاده صورت می گیرد [۷]. هدف اصلی از این پژوهش تهیه نقشه توزیع علف های هرز در سطح مزرعه گندم بود تا بتوان در گام بعدی از روی این نقشه برای سمپاشی نرخ متغیر استفاده نمود. برای نیل به این هدف از تصویربرداری هوایی با استفاده از پهپاد مجهز به دوربین چندطیفی استفاده شد. با کمک اطلاعات جمع آوری شده، آنالیزهای مختلفی از جمله بررسی آفت ها، تراکم پوشش گیاهی، شرایط خاک، حشرات مضر و ... را می توان انجام داد.

مواد و روش ها

در شیوه نقشه مبنا، از دوربین های RGB و چندطیفی نصب شده بر روی پهپادها برای تصویربرداری از مزرعه در مراحل مختلف رشد گیاه استفاده می شود. بدین صورت که مطابق شکل ۱ ابتدا پهپاد مجهز به دوربین چندطیفی و RGB بر روی مزرعه در ارتفاع ۵ تا ۱۵ متر پرواز نموده و تصاویر دوربین ها در حافظه ذخیره می شود. پس از تصویربرداری برای پردازش تصاویر، تعیین نقشه شاخص های مختلف (مانند NDRE, GNDVI, SAVI, PRI, NDWI, MSAVI, EVI, CVI, REIP, LAINDLI, PSRI, MCARI, NDWI) و استخراج نقشه های مختلف از نرم افزارهای تخصصی پردازش تصویر مانند Pix4Dfields, ENVI, Metashape استفاده می شود.



شکل ۱- تهیه نقشه اعمال نرخ متغیر نهاده در نقاط مختلف مزرعه با تصویربرداری هوایی [۸]

پهپادهای تصویربرداری کشاورزی:

در حال حاضر دو نوع پهپاد تصویربرداری هوایی ساخت شرکت DJI کشور چین شامل فانتوم ۴ مولتی اسپکترال^۳ و مویک ۳ مولتی اسپکترال^۴ در بازار ایران وجود دارند که می توانند با پرواز بر روی مزارع و زمین های کشاورزی و به کمک یک دوربین چندطیفی^۵ متشکل از شش حسگر CMOS، اطلاعات و داده های بسیار دقیقی از سطح گیاهان و مزارع جمع آوری نمایند. برتری پهپادهای DJI در پایداری بالا، تشخیص مانع دقیق و مداومت پرواز زیاد آنها می باشد.

پهپاد تصویربرداری فانتوم ۴ مولتی اسپکترال نسل اول پهپادهای مجهز به دوربین های چندطیفی برای پایش مزارع می باشد که می تواند ابزاری ارزشمند در نظارت، درک و درمان مسائل مربوط به سلامت محصول و پوشش گیاهی باشد که چشم انسان از دیدن آن ناتوان است (شکل ۲-راست). این پهپاد از نوع کوادکوپتر (چهار موتور) با بدنه یکپارچه و برای مصارف کشاورزی و زیست محیطی ساخته شده است. وزن آن ۱۴۸۷ گرم و دارای گیمبال و لرزشگیر سه محوره و دوربین چند طیفی و پخش زنده شاخص NDVI می

¹ Sensor-based

² Map-based

³ Phantom 4 Multispectral

⁴ Mavic 3 Multispectral

⁵ Multispectral camera



باشد. با ارائه نسخه های جدید پهپادهای مولتی اسپکترال از نوع مویک توسط شرکت DJI، تولید و فروش پهپاد فانتوم ۴ متوقف شده است. دوربین چندطیفی پهپاد فانتوم ۴ مولتی اسپکترال (شکل ۲-۲) ساختاری متشکل از یک دوربین RGB برای تصویربرداری با نور مرئی و پنج دوربین با حسگر تک رنگ برای تصویربرداری چندطیفی بر روی یک گیمبال (استابلایزر) سه محوره برای تصویربرداری بدون هیچ گونه لرزش، اعوجاج و تغییر در سطح افق دارد. حسگرها یا دوربین ها به ترتیب دارای فیلتر آبی یا B با طول موج ۴۵۰ نانومتر، فیلتر سبز یا G با طول موج ۵۶۰ نانومتر، فیلتر قرمز یا R با طول موج ۶۵۰ نانومتر، فیلتر لکه سرخ یا RE با طول موج ۷۳۰ نانومتر و فیلتر فرو سرخ یا NIR با طول موج ۸۴۰ نانومتر می باشند.



شکل ۲- پهپاد فانتوم ۴ مولتی اسپکترال (راست) و دوربین چندطیفی آن (چپ) [۹]

مویک ۳ مولتی اسپکترال پهپادی صنعتی از نوع کوادکوپتر (با چهار ملخ) است که برای اسکن باغات و اراضی کشاورزی جهت کسب اطلاعات مهم و حیاتی از وضعیت پوشش گیاهی موجود، قابل استفاده است (شکل ۳-۳). این پهپاد با برخورداری از سیستم موقعیت یاب RTK و دوربین چندگانه می تواند داده هایی دقیق و در عین حال متنوع را از سوژه ها جمع آوری نماید. این پهپاد مجهز به دوربین های RGB و چند طیفی، حسگرهای شناسایی و عدم برخورد با موانع، زمان پروازی طولانی با هر باتری و برد ارسال تصویر ۱۵ کیلومتری می باشد. با قابلیت پرواز خودکار، این پهپاد می تواند بصورت خودکار پرواز نموده و تصویربرداری را در محدوده تعریف شده بصورت خودکار انجام دهد. همچنین در صورت از دست رفتن سیگنال های ماهواره یا ریموت کنترل و کاهش ولتاژ باتری (تا ۱۰ درصد)، قابلیت بازگشت به خانه به صورت خودکار فعال می شود و در سریع ترین زمان پهپاد بهترین مسیر را برای بازگشت به خانه انتخاب و طی می نماید. این کوادکوپتر ۹۵۱ گرم وزن داشته و از طراحی تاشو برخوردار بوده و می توان با جمع نمودن بازوهای آن، پهپاد را به راحتی به هر کجا برده و اقدام به پرواز نمود.



شکل ۳- پهپاد مویک ۳ مولتی اسپکترال در حالت باز شده (راست) و جمع شده (چپ) [۹]

سیستم تصویربرداری چندطیفی پهپاد مویک ۳ مولتی اسپکترال شامل چهار دوربین ۵ مگاپیکسلی طیف سنج G/R/RE/NIR بعلاوه یک دوربین ۲۰ مگاپیکسلی RGB است که در یک ساختار یکپارچه و بر روی یک گیمبال سه محوره قرار داده شده است (شکل



۴). مشخصات این دوربین در جدول ۱ آمده است. همچنین حسگر Sunlight نصب شده در قسمت فوقانی این پهپادها میزان تابش خورشید در فواصل و بازه های مختلف روز جهت بالا بردن دقت و به حداکثر رساندن آن را اندازه گیری می کند. داده های بدست آمده در نتایج NDVI بسیار اثر گذار و مهم است و دقت آن را به حداکثر می رساند. در ریموت کنترل این پهپاد به صورت همزمان تصویر زنده RGB در کنار نقشه NDVI جهت بررسی و تجزیه و تحلیل همزمان داده های مزرعه قابل مشاهده است.

MAVIC 3M MULTISPECTRAL CAMERA

- M3M integrates 4 multispectral camera (G/R/RE/NIR), 1/2.8 CMOS, 5 MP
- G: 560nm± 16nm;
- R: 650nm± 16nm;
- RE: 730nm± 16nm;
- NIR: 860nm±26nm;



شکل ۴- دوربین های پهپاد مویک ۳ مولتی اسپکترال [۹]

جدول ۱- مشخصات طیفی دوربین پهپاد مویک ۳ مولتی اسپکترال

پارامتر	معادل انگلیسی	باند های تصویر گیری	نوع شاتر	نوع حسگر	اندازه حسگر	رزولیشن	زاویه دید	کیفیت فیلم برداری
دوربین مرئی	RGB camera	قرمز، سبز و آبی	مکانیکی و الکترونیکی	CMOS	4/3 اینچ	۲۰ مگاپیکسل	۸۴ درجه	4K
دوربین چندطیفی	Multispectral camera	سبز، قرمز، لکه قرمز و مادون قرمز نزدیک	الکترونیکی	CMOS	1/2.8 اینچ	۵ مگاپیکسل	۷۳/۹ درجه	FHD

نرم افزارهای پردازش تصاویر پهپاد:

به منظور بهره برداری و استفاده کامل از قابلیت های پهپادهای چندطیفی مانند مویک ۳ مولتی، می توان از نرم افزارهای سازگار با این پهپادها جهت برنامه ریزی و اجرا مأموریت های پروازی استفاده نمود. از مهمترین برنامه ریزی های پروازی قابل انجام با استفاده از این نرم افزارها می توان به موارد زیر اشاره نمود:

نقشه برداری: این پهپاد قادر است با پرواز خودکار بر روی مزرعه اطلاعات و داده های بسیار دقیقی از سطح گیاهان و مزرعه جمع آوری نماید. مویک ۳ مولتی اسپکترال امکان نقشه برداری هوایی از باغ ها، حتی در مناطق شیبدار را به همراه پلتفرم هوشمند DJI Terra یا SmartFarm فراهم می کند، تا نقشه های باغ های پر از درخت را بازسازی و به صورت خودکار تعداد درختان را شناسایی، درختان را از سایر موانع یا اشیاء تشخیص، مسیرهای عملیاتی سه بعدی برای هواپیماهای بدون سرنشین کشاورزی ایجاد و عملیات را ایمن تر و کارآمدتر کند.

پایش مزارع: نرم افزار DJI Terra یا پلتفرم هوشمند DJI SmartFarm می تواند نقشه های NDVI و سایر شاخص های گیاهی را برای پایش مزرعه و انجام ماموریت های متنوع کوددهی و سمپاشی تهیه کند.

جستجوی میدانی: مویک ۳ مولتی می تواند به صورت خودکار نقشه برداری میدانی را انجام دهد و تصاویر نقشه برداری میدانی را بلادرنگ از طریق یک شبکه 4G, روی پلتفرم DJI SmartFarm آپلود نماید.

نرم افزار :Pix4Dfiles

نرم افزار تخصصی کشاورزی دقیق با عنوان Pix4Dfields توسط شرکت Pix4D بطور اختصاصی برای تهیه نقشه های مختلف از مزرعه از روی تصاویر هوایی پهپاد و ماهواره ارائه شده است (شکل ۵). به کمک این نرم افزار می توان با داشتن تصاویر هوایی از مزرعه نقشه های مختلفی از مزرعه مانند فتوموزائیک و DSM, DEM ساخت و در ادامه نقشه شاخص های مختلف گیاهی را از روی نقشه فتوموزائیک تهیه نمود. این نرم افزار فهرستی از محبوب ترین شاخص های گیاهی از پیش تعریف شده (شامل, NDVI, BNDVI, NDRE, SIPI2, TGI, VARI, NDMI, GNDVI, LCI, MCARI) را ارائه می دهد. هر شاخص کاربرد و خروجی بصری متفاوتی دارد. Pix4Dfields همچنین دارای ابزار محاسبه گر شاخص^۱ می باشد و با آن می توان فرمول های شاخص سفارشی ایجاد نمود که با نیازهای خاص بررسی محصولات یا حفاظت از محصولات بهتر سازگار باشند. شاخص های سفارشی را می توان بسته به باندهای موجود از تصاویر وارد شده ایجاد کرد، این باندها به صورت دکمه هایی در زیر باندهای نقشه بازتاب فهرست شده اند.



شکل ۵- نقشه NDVI تهیه شده در محیط نرم افزار Pix4Dfields

با ابزار پیشرفته تجسم لایه ۲، Pix4Dfields مجهز به عملکردهای متعددی است که کمک می‌کند تا روی داده‌هایی که مهم هستند تمرکز نمود، از جمله متعادل‌سازی هیستوگرام و محدوده دینامیکی برای کنترل بیشتر بر مقادیر داده‌های مورد نظر. این قابلیت ما را قادر می‌سازد تا توجه خود را به مقادیر خاصی جلب کرد که بینش بیشتری در مورد وضعیت مزارع به ما می‌دهند. یک پهباد و Pix4Dfields می‌توانند به باز کردن دانش و داده‌هایی کمک کنند که قبلاً در همان مقیاس با همان قیمت غیرقابل دسترسی بودند [۱۰]. رایج‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی بطور پیش‌فرض در PIX4Dfields موجود هستند. با این حال، ترکیب طیفی مجموعه داده‌های مزرعه تعیین می‌کند که کدام شاخص‌های پوشش گیاهی برای تولید در دسترس هستند. به عنوان مثال، لیست شاخص‌های پیش‌فرض برای تصاویر RGB در مقابل تصاویر چندطیفی، به دلیل ترکیب متفاوت باندهای طیفی، متفاوت خواهد بود [۱۱].

شاخص NDVI:

¹ Index calculator tool² Advanced layer visualization tool



شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال شده^۱ (NDVI) که به اصطلاح «شاخص سبز» نامیده می‌شود، به محتوای کلروفیل حساس است. این شاخص برای نشان دادن انواع مختلف پوشش زمین و سلامت گیاه یا تراکم پوشش گیاهی طراحی شده است. تراکم محصول همبستگی بالایی با مقدار شاخص NDVI دارد [۱۲ و ۸]. شاخص NDVI از رابطه ۱ تعیین می‌گردد:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

که در آن NIR مقدار بازتاب در محدوده‌ی باند فرسرخ نزدیک و RED مقدار بازتاب در باند قرمز می باشد [۸] (Li et al., 2023). هرچه درصد بازتاب در باند فرسرخ نزدیک افزایش و بازتاب باند قرمز کاهش یابد، مقدار اختلاف صورت کسر نسبت به مخرج بیشتر شده و در نتیجه مقدار سبزی‌نگی افزایش می یابد. پوشش گیاهی سالم، بیشتر نور مرئی که به آن برخورد می‌کند را جذب می‌کند و بخش بزرگی از نور مادون قرمز نزدیک را منعکس می‌کند. در نتیجه، پوشش گیاهی سالم مقدار NDVI بالایی خواهد داشت. پس با تشخیص NDVI، می‌توان تراکم محصول را بدست آورد و تراکم گیاهان در مزرعه با میزان نیاز گیاه به نهاده‌های شیمیایی و اقدامات زراعی مانند سمپاشی رابطه مستقیمی وجود دارد [۱۳]. تهیه نقشه میزان پاشش سم در نقاط مختلف مزرعه از روی نقشه NDVI مزرعه امکان پذیر بوده و در پژوهش‌های اخیر پیشنهاد شده است [۸].

مقدار NDVI از -۱ تا +۱ متغیر است. مقادیر NDVI تحت تأثیر ویژگی‌های خاص منطقه مورد مطالعه، از جمله نوع پوشش گیاهی، مرحله رشد و وجود هرگونه عامل تنش (مانند دسترسی به آب یا بیماری‌ها) قرار می‌گیرند. خلاصه‌ای از آنچه مقادیر این شاخص نشان می‌دهند، به شرح زیر است:

مقادیر نزدیک به +۱: مقادیر بالای NDVI (نزدیک به +۱) نشان دهنده برگ‌های سبز متراکم هستند و معمولاً با پوشش گیاهی سالم و قوی مرتبط هستند. زیرا پوشش گیاهی سالم نور مادون قرمز نزدیک (NIR) بیشتری را منعکس می‌کند و نور مرئی بیشتری را جذب می‌کند.

مقادیر نزدیک به صفر: مقادیر NDVI حدود صفر نشان دهنده مناطق بایر، سنگلاخ، شن یا برف است، جایی که تفاوت کمی در بازتاب بین طول موج‌های قرمز و NIR وجود دارد که نشان دهنده پوشش گیاهی حداقل است.

مقادیر نزدیک به -۱: مقادیر منفی NDVI (نزدیک به -۱) امکان‌پذیر هستند، اما کمتر رایج هستند و می‌توانند زمانی رخ دهند که بازتاب در طول موج قرمز بیشتر از بازتاب در طول موج NIR باشد. این وضعیت ممکن است در آبراه‌ها مشاهده شود، جایی که جذب NIR بیشتر از جذب نور مرئی است و منجر به مقادیر منفی NDVI می‌شود.

تصویربرداری هوایی از مزرعه گندم:

تصویربرداری از مزرعه گندم دیم پائیزه به مساحت ۲ هکتار و در پنج مرحله، در فصل بهار ۱۴۰۴ و با استفاده از یک دستگاه پهپاد مویک ۳ مولتی اسپکترا ساخت شرکت DJI انجام شد (شکل ۶).



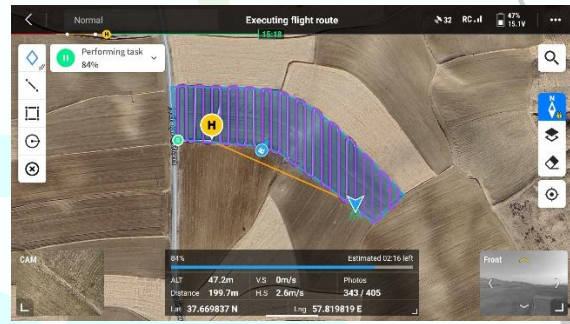
شکل ۶- پهپاد مویک ۳ مولتی اسپکترا مورد استفاده برای تصویربرداری از مزرعه

¹ Normalized Difference Vegetation Index



با توجه به شیبدار بودن مزرعه انتخابی و اختلاف ارتفاع حدود ۲۰ متر بین بلندترین و پست‌ترین نقطه آن، پرواز در ارتفاع ثابت نسبت به نقطه شروع پرواز، باعث ایجاد اختلاف در ارتفاع تصاویر اخذ شده از سطح مزرعه می‌گردد که منجر به ایجاد اعوجاج در تصویر ارتوموزائیک مزرعه و خطا در تعیین شاخص‌های گیاهی از سطح مزرعه می‌گردد. لذا تصویربرداری باید بگونه‌ای باشد که این اختلاف ارتفاع جبران شود. پهپاد مویک ۳ مولتی اسپکترال قابلیت پرواز بر اساس توپوگرافی زمین را دارد. در این حالت پهپاد با استفاده از حسگرهای نصب شده در زیر خود، بصورت لحظه‌ای فاصله اش از سطح زمین را اندازه‌گیری می‌کند و ارتفاع پروازش را بگونه‌ای تنظیم می‌کند که در طی پرواز همواره از سطح زمین در ارتفاع ثابتی قرار گیرد. بنابراین پهپاد بر اساس توپوگرافی مزرعه و در ارتفاع ثابت ۳۰ متر از سطح مزرعه پرواز نموده و تصاویر RGB و MS را جمع‌آوری نمود (شکل ۷). پارامترهای این حالت پروازی به شرح زیر بود:

ارتفاع پرواز: ۳۰ متر
GSD: ۱/۳۸ سانتیمتر بر پیکسل
سرعت پرواز: ۲/۶ متر بر ثانیه
جهت خطوط پرواز: ۰ درجه شمالی
همپوشانی طولی: ۸۰ درصد
همپوشانی عرضی: ۷۰ درصد
حاشیه تصویربرداری: ۲ متر
مساحت تصویربرداری: ۲/۳ هکتار



شکل ۷- مسیر پرواز پهپاد براساس DEM منطقه (راست) و تصویر دوربین پهپاد در حین پرواز (چپ)

نتایج و بحث

پردازش تصاویر اخذ شده:

نمونه‌ای از تصاویر اخذ شده در یک نقطه مزرعه با دوربین‌های چندطیفی در شکل ۸ آمده است. با توجه به تنظیمات انتخاب شده، تعداد کل تصاویر RGB برابر با ۴۰۳ عکس و تعداد کل تصاویر MS برابر با ۱۶۱۲ عکس و در چهار طیف مختلف بود.



RGB

Green

NIR

Red

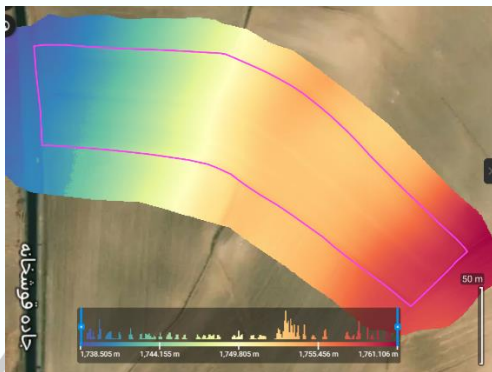
Red edge

شکل ۸- نمونه تصاویر گرفته شده از مزرعه گندم از ارتفاع ۳۰ متر

تصاویر اخذ شده از مزرعه با استفاده از نرم افزار تخصصی کشاورزی دقیق با نام Pix4Dfields نسخه ۲.۸.۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این نرم افزار قادر است تصاویر RGB و یا MS را بعنوان ورودی گرفته و نقشه‌های خروجی شامل DSM، ارتوموزائیک و شاخص‌های VARI و TGI را از روی تصاویر RGB و شاخص‌های NDVI، GNDVI، LCI، MCARI، NDRE، SIPI2 را از روی



تصاویر MS تولید نماید. تصاویر نقشه های DSM، ارتوموزائیک و شاخص های VARI و NDVI بدست آمده برای مزرعه در شکل ۹ آمده است.



ب- نقشه DSM مزرعه حاصل از تصاویر RGB



الف- مسیر پرواز و موقعیت اخذ تصاویر MS و RGB



د- نقشه شاخص VARI مزرعه حاصل از تصاویر RGB



ج- نقشه ارتوموزائیک مزرعه حاصل از تصاویر RGB



و- نقشه شاخص NDVI مزرعه حاصل از تصاویر MS



ه- نقشه ارتوموزائیک مزرعه حاصل از تصاویر MS

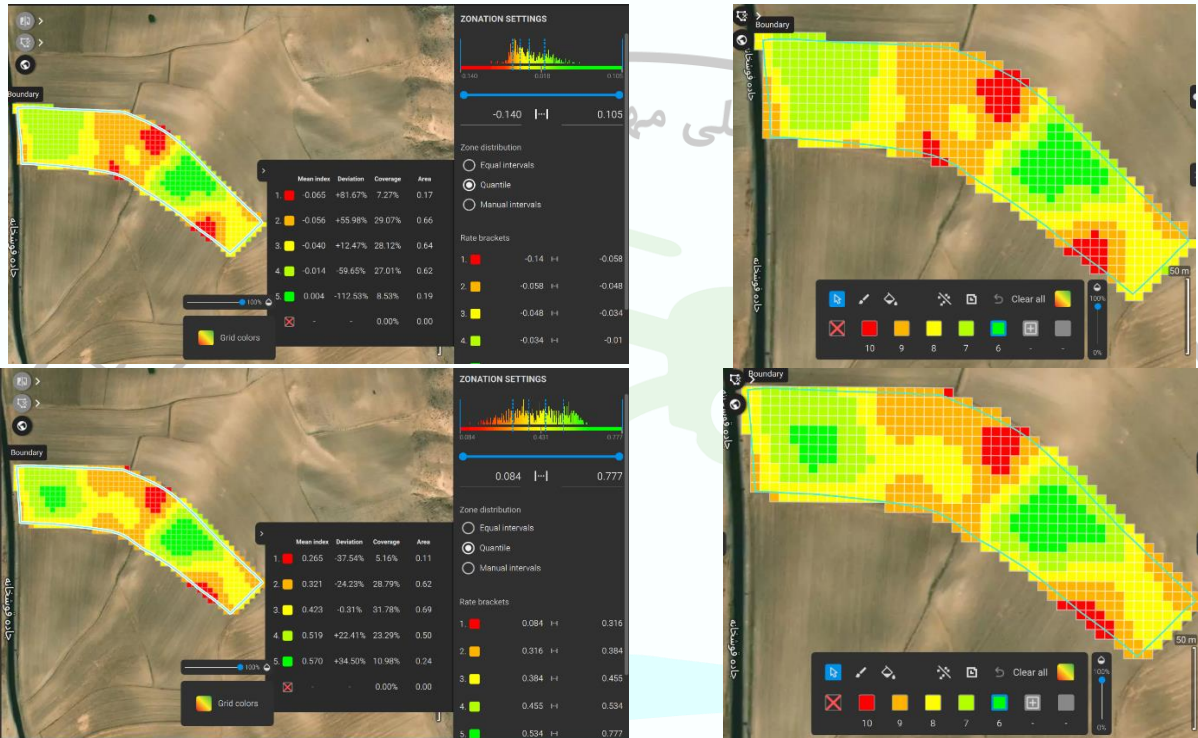
شکل ۹- نقشه های مزرعه از روی تصاویر RGB و MS اخذ شده حین پرواز بر اساس DEM منطقه در ارتفاع ۳۰ متر

تهیه نقشه اعمال نهاده:

نرم افزار Pix4Dfields این قابلیت را دارد که بتوان از روی نقشه شاخص های مختلف، نقشه اعمال نهاده را نیز تولید نمود. برای شاخص NDVI با شبکه های ۶×۶ متر (بر اساس عرض کار پهنای سمپاش موردنظر) نقشه اعمال سم تهیه گردید، که در شکل ۱۰ آمده است. در تهیه این نقشه ها سطح مزرعه از نظر مقدار شاخص NDVI به پنج ناحیه مجزا تقسیم بندی شد. برای ناحیه بحرانی مقدار ۱۰ لیتر در هکتار محلول سمی فرض شد و برای نواحی دیگر به ترتیب ۸، ۷ و ۶ لیتر در هکتار محلول سمی در نظر گرفته شد. با



گرفتن خروجی از نقشه بصورت Shapefile در نرم افزار Pix4Dfields و ذخیره آن بر روی کارت حافظه، نقشه سمپاشی نرخ متغیر به پهپاد سمپاش داده می شود تا براساس آن سمپاشی را در سطح مزرعه انجام دهد.



شکل ۱۰- نقشه سمپاشی نرخ متغیر بر اساس تقسیم مزرعه به ۵ ناحیه مختلف مطابق شاخصهای VARI (تصاویر بالا) و NDVI (تصاویر پایین) از روی تصاویر اخذ شده حین پرواز براساس DEM منطقه در ارتفاع ۳۰ متر

نتیجه گیری کلی

براساس پیمایش میدانی، شاخص NDVI همبستگی مناسبی با توضیح علف های هرز در سطح مزرعه نداشت. لذا یافتن شاخصی که همبستگی مناسبی با پراکندگی علف های هرز در سطح مزرعه داشته باشد، ضروری است. با توجه به اینکه هدف پژوهش تشخیص تمامی علف های هرز موجود در سطح مزرعه بوده و نوع علف هرز مهم نیست، بنابراین شاخص مدنظر باید بگونه ای عمل کند که تمرکز مجموع علف های هرز در نقاط مختلف مزرعه را نشان دهد. با توجه به تفاوت طیف بازتابی از سطح گیاهان مختلف، بنظر می رسد که بتوان با تصویرگیری توسط دوربین چندطیفی و تعیین طیف بازتابی از گیاه اصلی، پراکندگی گیاهان مختلف غیر از گیاه اصلی در مزرعه را مشخص نمود. اگر بتوان گیاه اصلی را از روی ویژگی های رنگی و طیفی اش شناسایی کرد، الباقی سبزیبگی موجود در تصویر بعنوان علف هرز در نظر گرفته می شود. البته اگر این تکنیک در عمل جواب ندهد و مجبور به استفاده از ویژگی های رنگی و طیفی علف هرز شویم، باید نوع علف هرز مدنظر مشخص شود.

تشکر و قدردانی

این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته شده از طرح شماره «۴۰۲۳۴۵۵» انجام شده است. همچنین نویسندگان مقاله از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز بابت حمایت مالی از این پژوهش در قالب پژوهانه به شماره SCU.AA1403.225 و از مدیریت محترم گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد بابت فراهم آوردن زمینه انجام آزمایشات تشکر و قدردانی می نمایند.



منابع

- 1- Lak, A., Behfar, H. and Abdualpour, Sh. 2018. Design, Construction and Evaluation of Variable Rate Spraying System for Weed Controlling (In Persian). *Journal of Agricultural Mechanization*, 4(2), 1-12.
- 2- Poordelphi Zadeh, A. 2023. Fabrication and evaluation of a variable rate application system for spraying drone. MSc thesis, Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. (In Persian).
- 3- Tuna, K. E., Uğur, T., Gültekin, U. and Budak, D. B. 2017. Using Drones In Agricultural Areas. *Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences, JAFES*, 71(2), 82-86.
- 4- Hunter III, J.E., Gannon, T.W., Richardson, R.J., Yelverton, F.H., and Leon, R.G. 2020. Integration of remote-weed mapping and an autonomous spraying unmanned aerial vehicle for site-specific weed management. *Pest Management Science*, 76(4), 1386-1392.
- 5- Yuan, W., Li, J., Bhatta, M., Shi, Y., Baenziger, P. S. and Ge, Y. 2018. Wheat height estimation using LiDAR in comparison to ultrasonic sensor and UAS. *Sensors*, 18(11), 3731.
- 6- Wen, S., Zhang, Q., Deng, J., Lan, Y., Yin, X. and Shan, J. 2018. Design and experiment of a variable spray system for unmanned aerial vehicles based on PID and PWM control. *Applied Sciences*, 8(12), 2482.
- 7- Morgan, M. and S, D. 2003. A Guide to Precision Agriculture for Agricultural Professionals (pp. 295). Translated by Mohammad Laghoi. Publisher: Agricultural Information Technology and Information Centerm, Karaj, Iran. (In Persian).
- 8- Li, Y., Wu, Y., Xue, X., et al., Liu, X., Xu, Y. and Liu, X. 2023. Efficiency-first spraying mission arrangement optimization with multiple UAVs in heterogeneous farmland with varying pesticide requirements, *Information Processing in Agriculture*, <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2023.02.006>
- 9- Anonymous 1. 2023. Spraying drone. Negah Aseman Company. <https://www.nauav.ir/aseman-agriculture-drone/> (In Persian).
- 10- Anonymous 2. 2025. <https://www.pix4d.com/blog/pix4dfields-vegetation-indices-for-precision-agriculture/#tgi>.
- 11- Anonymous 3. 2025. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/360000891623>.
- 12- Lelong, C. D., Burger, P., Jubelin, G., Roux, B., Labbe, S., & Baret, F. 2008. Assessment of unmanned aerial vehicles imagery for quantitative monitoring of wheat crop in small plots. *Sensors*, 3557-3585.
- 13- Backes, M. and Jacobi, J. 2006. Classification of weed patches in quick bird images: Verification by ground truth data. *EARSeL eProceedings* 5, 2/2006, pages 173-179.



Wheat Field Monitoring by Drones: Components and Implementation

Hassan Masoudi^{1*}, Mohammad Hossein Aghkhani², Jalal Baradaran Motie³

1. Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (hmasoudi@scu.ac.ir)
2. Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (aghkhani@um.ac.ir)
3. Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (j.baradaran@um.ac.ir)

Abstract

To perform precision farming operations such as applying variable rates of pesticides in the field, it is necessary to monitor the field and prepare maps of various crop indicators such as weed distribution maps in the field. One of the new technologies for this is imaging drones. Multispectral cameras mounted on imaging drones can be used to prepare maps of various indicators such as NDVI and determine various maps such as weed density and extract variable rate application maps. In this study, imaging of a wheat field was carried out using a Mavic 3 multispectral drone. At an altitude of 30 meters relative to the DEM of the area, imaging of the field was carried out with RGB and multispectral cameras (in four bands of green, red, red edge and near infrared). Then, using a dedicated farm image processing software called Pix4Dfields, RGB and multispectral images were processed, and DSM and Orthomosaic maps, as well as maps of VARI, TGI indices for RGB images and SIPI2, NDRE, MCARI, LCI, GNDVI, NDVI indices for multispectral images were prepared. This software also has the ability to prepare variable rate application maps based on different index maps. Therefore, variable rate pesticide spraying maps were prepared based on VARI and NDVI indices. This article describes the details of the farm monitoring system and how to prepare the maps of different indices and variable rate application of pesticide.

Keywords

Aerial imaging, Drone, Mavic 3 multispectral, NDVI map, Variable rate application map, Wheat field.

*Corresponding authors name and email: Hassan Masoudi, hmasoudi@scu.ac.ir